

Laudatio  
Zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-  
Medaille an Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang  
Krätschmer

Heidberg, Joachim

Veröffentlicht in:  
Jahrbuch 2002 der Braunschweigischen  
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.143-156



J. Cramer Verlag, Braunschweig

PROF. DR. PHIL. NAT. JOACHIM HEIDBERG, Hannover

**Laudatio**  
**Zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille**  
**an Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Krätschmer**

Nur durch das Morgentor des Schönen  
Drangst du in der Erkenntnis Land.  
Schiller 1789

Sehr geehrter Herr Präsident,  
verehrter, lieber Herr Kollege Krätschmer,  
sehr verehrte Frau Krätschmer,  
hohe Festversammlung!

Wolfgang Krätschmer und Mitarbeiter veröffentlichten im Jahre 1990 bahnbrechende Beiträge zur Entdeckung der Fullerene, die eine neue Stoffklasse reiner Kohlenstoffe bilden neben den altbekannten kristallinen Formen des Graphits und Diamanten sowie dem bisher nur im Meteoritenkrater des Nördlinger Ries gefundenen Mineral Chaoit. Krätschmer hatte ein Verfahren zur Herstellung der neuen Kohlenstoffe in wägbaren Mengen entdeckt und damit eine weltweite Forschungslawine beispiellosen Ausmaßes losgelöst. Überdies war ihm der erste schlüssige Beweis für die außergewöhnliche Gestalt des Grundkörpers der Klasse, des Buckminsterfullerens  $C_{60}$ , gelungen, welcher die Form eines hochsymmetrischen Hohlkörpers besitzt.

Buckminsterfulleren  $C_{60}$  hat die Symmetrie eines gekappten Ikosaeders, die nichts anderem als der Gestalt eines Fußballs entspricht. Der gekappte Ikosaeder leitet sich vom Ikosaeder ab, einem regulären Körper, der von 20 äquivalenten, gleichseitigen Dreiecken begrenzt wird und 12 äquivalente Ecken und 30 Kanten besitzt. In einer Ecke treffen sich jeweils 5 Dreiecke. Indem man jede der 12 Ecken zu einem Fünfeck kappt, erhält man einen gekappten Ikosaeder mit 12 gleichseitigen Fünfecken, 20 gleichseitigen Sechsecken und 60 äquivalenten Ecken. Der gekappte Ikosaeder gehört zu den 13 halbbregulären Polyedern, die von zwei oder mehr Arten regulärer Flächen begrenzt werden, und vermutlich erstmals von Archimedes den fünf regulären Polyedern, den platonischen Körpern, zur Seite gestellt wurden. Es ist vielleicht die Symmetrie des gekappten Ikosaeders, welche die starke Anziehung des Buckminsterfullerens  $C_{60}$  auf die Forscher ausübt. Der Ikosaeder gehört zu jenen fünf regulären Körpern, die seit Platon als Inbegriff des Schönen, der Harmonie und Vollkommenheit gelten. Die verminderte Regularität der archimedischen Körper, zu denen der gekappte Ikosaeder  $C_{60}$  gehört, könnte heutigem ästhetischem Empfinden sogar näher kommen Abb. 1.

Es ist diese neuartige molekulare Architektur, der die Fullerene ihren Namen verdanken. Der amerikanische Architekt Richard Buckminster Fuller konstruierte gigantische, frei tragende Kuppelbauten, geodätische Dome, die aus einem Stabwerk verbundener Streben bestehen und genau auf dem Bauprinzip basieren, das die Natur in den Fullerenen verwirklicht.

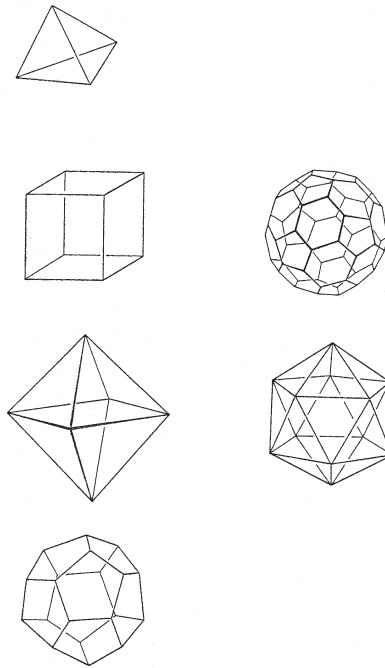


Abb. 1: Die fünf platonischen Körper. Ikosaeder (unten rechts). Gekappter Ikosaeder, ein archimedischer Körper (oben rechts).

Die Entdeckung der Fullerene ist ein leuchtendes Beispiel für die Fruchtbarkeit interdisziplinärer Forschung. Zwei Forschergruppen sind die wesentlich Handelnden, die erste mit dem Physiker Krätchmer und Huffman, die zweite mit den Chemikern Kroto, Smalley und Curl. Beide Forschergruppen waren dabei, die Natur interstellarer Materie aufzuklären allerdings zunächst völlig unabhängig voneinander und auch mit unterschiedlichen Zielrichtungen. Keiner dachte an vielatomige Hohlkörper. Entsprechend verwinkelt war der Weg zu den Fullerenen. Aus meiner Sicht verläuft deren Entdeckung in drei Akten.

### Erster Akt. Interstellarer Staub

Es begann 1977. Wolfgang Krätchmer forschte bei dem Festkörperphysiker Donald Huffman in Tuscon, Arizona, der den interstellaren Raum als ideales Labor nutzte, um Experimente an isolierten kleinen Teilchen, den Körnchen des interstellaren Staubs, auszuführen [1]. Wer den wunderbaren Sternenhimmel über der klaren Luft der Wüste einmal erlebt hat, wird sicher zustimmen, daß diese Umgebung der richtige Ort für solche Studien ist.

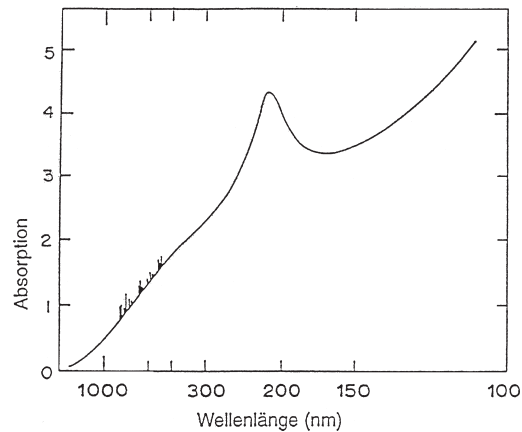


Abb. 2: Die 220nm Licht-Absorption des interstellaren Mediums, wahrscheinlich verursacht durch nanoskopische Kohlenstoff-Teilchen. Der Anstieg vom Langwelligen (Roten) zum Kurzwelligen (Ultraviolett) wird durch Streuung des Lichts an diesen Staubteilchen verursacht. Die Ursache der Spektrallinien zwischen 400 und 800nm ist nicht bekannt. Als Schichtdicke werden 3300 Lichtjahre angesetzt. [1]

1982 kam Huffman zu einem Forschungsaufenthalt zu Krätschmer in das Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg, um die Studien fortzusetzen. Besonders angetan waren die beiden von dem sog. 220 nm Merkmal, der intensivsten interstellaren spektralen Absorption im ultra-violetten Spektralbereich, die, so vermutete man, durch kleine Teilchen aus Kohlenstoff verursacht wird. Abb. 2. Im Bereich des sichtbaren Lichts erkennt man viele schärfere, schwache Absorptionen, die sog. „diffusen interstellaren Absorptionen“, deren Ursprung noch unbekannt ist [2].

Der Weltraum ist zwar ein Super-Ultrahochvakuum, aber eben nicht absolut leer. Er enthält hoch verdünnte Gase, vornehmlich Wasserstoff und Helium, und Stäube. Eines der „staubigen“ Objekte ist der sogenannte Pferdekopfnebel im Sternbild Orion. Die interstellare Staubwolke schwächt das Licht dahinter liegender Sterne, wobei das Licht nicht bei allen Wellenlängen gleichmäßig geschwächt wird, sondern das blaue Licht der Sterne stärker gestreut wird als das rote. Die Sterne hinter der Staubwolke erscheinen gerötet. Diese Rötung stammt von den interstellaren Staubteilchen, Teilchen mit Durchmessern von 0.1  $\mu\text{m}$  also 1/10 000 eines Millimeters und kleiner. Abb. 3.

Um verlässliche Aussagen über die Farbeigenschaften dieser Nanometer-großen Teilchen zu gewinnen, ist man auf Versuche im Labor angewiesen, wo solche kleine Teilchen erzeugt und spektroskopiert werden können.

Zur Erzeugung der kleinen Kohlenstoffteilchen bediente sich Krätschmer der bewährten Methode, Kohlenstoff in einer Edelgasatmosphäre zu verdampfen. Das Gerät besteht aus einer Grundplatte mit elektrischen Durchführungen für zwei Graphit-Elektroden, über die eine Glasglocke gestülpt wird. Ein starker elektrischer Strom, der durch die beiden sich



Abb. 3: „Pferdekopfnebel“ im Sternbild Orion. Die interstellare Staubwolke mit dem pferdekopfförmigen Filament, die in ein staubfreies Gebiet hineinreicht, schwächt das Licht der dahinter liegenden Sterne im Blauen stärker als im Roten. Die abgedunkelten Sterne erscheinen gerötet. Der Lichtfleck (links unten) wird durch Licht eines hellen Sterns erzeugt, das von den Staubteilchen der Wolke zurückgestreut wird. [1]

berührenden Stäbe aus Graphit geschickt wird, verdampft den Kohlenstoff. Die Graphitstäbe erwärmen sich im elektrischen Strom auf Temperaturen zwischen 2500 und 3000°C. Das Gerät steht heute im Deutschen Museum in Bonn, warum werden wir noch erfahren.

Führt man die Kohlenstoffverdampfung im Vakuum aus, so erhält man auf dem Auffänger einen Rußfilm. Füllt man hingegen die Glasglocke mit einem Edelgas, z.B. Helium, so kann man sehr schön mit bloßem Auge in der Nähe der hell glühenden Graphitstäbe eine Wolke erkennen. Im Streulicht erscheint die Wolke blau. Die Wolke treibt durch das Innere der Glasglocke. Als Rußschicht setzt sie sich an den Wänden der Glasglocke und dem Auffänger ab und kann untersucht, insbesondere spektroskopiert und mikroskopiert werden. Elektronenmikroskopische Aufnahmen der Rußproben zeigen lockere Aggregate

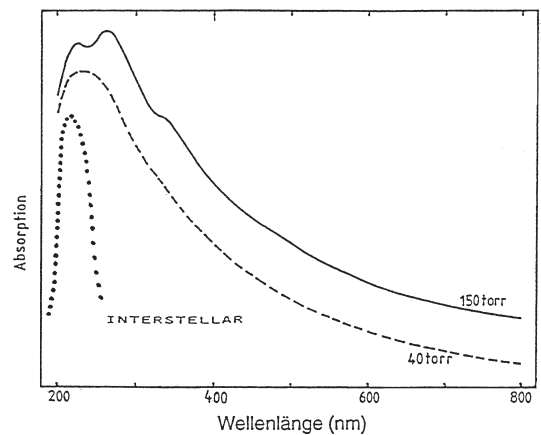


Abb. 4: Spektrum der im Labor erzeugten Rußteilchen im ultravioletten und sichtbarem Spektralbereich mit drei bei höheren Heliumdrücken auftretenden „Kamelhöckern“ zwischen 220 und 340nm. [1]

runder etwa 10 nm großer Teilchen. Die Ultraviolett-Spektren hatten gewöhnlich ein einziges Maximum bei 230 nm Wellenlänge. Die Spektralbande war mithin verschoben und überdies viel breiter als die interstellare Absorption bei 220 nm. Abb. 4.

Die Experimente in den Jahren 1982 und 1983 waren also enttäuschend ausgefallen. Zu dieser Enttäuschung gesellte sich noch eine Merkwürdigkeit: Gelegentlich überlagerten sich der breiten Absorption drei kleine schmale Peaks, die „Kamelhöcker“. Krätschmer und Huffman konnten diese nicht erklären, damals 1983. Aber die „Kamelhöcker“ ließen sie nicht los.

## Zweiter Akt. Buckminster - Fulleren $C_{60}$

### Kurzer Vorspann

J. Heidberg und Mitarbeiter hatten in Hannover um 1981 und davor in Erlangen die resonante laser-induzierte Desorption gefunden [3]. Darüber trug Heidberg in April 1984 in der Israelischen Akademie zu Jerusalem auf dem Symposium „Dynamics on Surfaces“ vor. In der Diskussion regte Mordechai Folman vom Technion an, Kohlenstoff-Cluster  $C_n$  durch laser-induzierte Desorption an Graphit in Helium herzustellen. „Wichtig ist, den Heliumgasdruck zu variieren, um größere, stabile Cluster zu finden, wenn solche überhaupt existieren sollten“, betonte Folman [4]. Die Experimente wurden aufgenommen, leider reichte das verfügbare Massenspektrometer nur bis zur Masse 200 amu. Soweit der Vorspann.

Im Juli 1984 stellten Rohlffing, Cox und Caldor durch laser-induzierte Desorption erzeugte, völlig neue, geradzahlige Kohlenstoff-Cluster  $C_n$  mit 40 und mehr Kohlenstoff-

atomen, einschließlich  $C_{60}$ , vor [5]. Nicht berichtet wurde jedoch über die Variation des Heliumdrucks zur Anreicherung und damit zum Nachweis besonders stabiler Cluster.

Im November 1985 teilten Kroto, Curl und Smalley, Rice University in Texas, die Entdeckung von stabilem  $C_{60}$  durch laser-induzierte Desorption an Graphit bei unterschiedlichen Helium-drucken mittels eines Flugzeitmassenspektrometers mit. Daneben beobachteten sie geringe Mengen  $C_{70}$ . Abb. 5. Sie postulierten für  $C_{60}$  die Hohlform eines gekappten Ikosaeders, welche eine ganz neuartige Struktur darstellte und die Grundform für eine neue Stoffklasse bilden sollte. Abb. 6. [6].

Harold W. Kroto, der in Brighton an der Universität von Sussex in England über lange Kohlenstoffketten, sog. Polyine, arbeitete, war im Sommer 1985 nach Texas geflogen, um zu versuchen, jene Chemie aufzuklären, die in der Atmosphäre von Kohlenstoffsternen mit dem schönen Namen „Rote Riesen“, abläuft.

Die überaus kühne Idee des Teams um Kroto und Smalley lag darin, aus den recht mageren Meßergebnissen den Strukturvorschlag eines drei-dimensionalen, fußballförmigen Moleküls, eines Käfigmoleküls, zu entwickeln. Ihnen war damals nicht bewußt, daß schon Vordenker, wie der Brite David Jones unter dem Pseudonym Daedalus [7], die Japaner Osawa und Yoshida [8], die Russen D. Bochvar und E. Gal'pern [9] über hohle

NATURE VOL. 318 14 NOVEMBER 1985

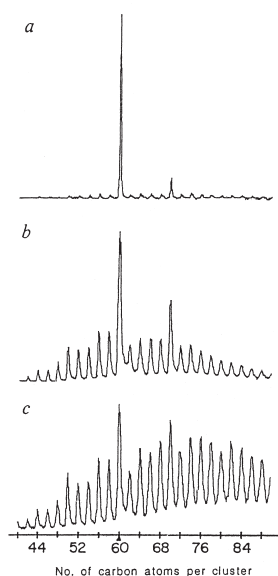


Abb. 5: Flugzeit-Massenspektren von Kohlenstoff-Clustern präpariert durch laser-induzierte Desorption an Graphit in Helium unterschiedlichen Drucks. (c) weniger als 10 torr. (b) etwa 760 torr. (a) etwa 760 torr nach Thermalisierung und Cluster-Cluster-Reaktionen. Anreicherung von  $C_{60}$  und Nachweis von dessen besonderer Stabilität. Daneben geringe Menge  $C_{70}$ .



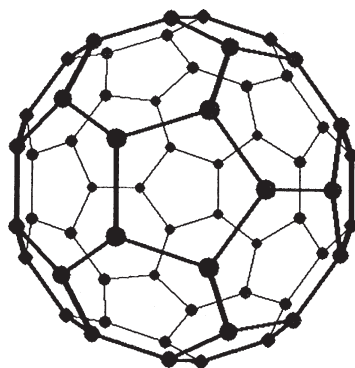


Abb. 6: Molekularstruktur von  $C_{60}$ . Perspektivische Darstellung. Auf jeder der 60 äquivalenten Ecken des gekappten Ikosaeders, der 12 Fünf- und 20 Sechsecke als begrenzende Flächen hat, sitzt ein Kohlenstoffatom.

Kohlenstoffkäfige nachgedacht hatten, die sie jetzt neu erfinden sollten. Orville Chapman von der University of California in Los Angeles versuchte seit 1981 sogar die Synthese von  $C_{60}$ , die er trotz hartnäckiger Versuche nicht schaffte, und die auch heute noch als eine der großen Herausforderungen der präparativen Organischen Chemie gilt.

Als es darum ging, dem frisch entdeckten Kohlenstoff  $C_{60}$  einen Namen zu geben, fiel Kroto der Name Buckminsterfulleren „aus heiterem Himmel“ ein, wie er sagt, worüber seine Kollegen zuerst alles andere als begeistert waren. Kroto kannte Entwürfe von Buckminster Fuller und bewunderte diese. Auch hatte er lebhaftere Erinnerungen an dessen geodätische Kuppel auf der Weltausstellung 1967 in Montreal, die er hoch hinauf bis an das filigrane Netzwerk der Stäbe bestiegen hatte. [10] Abb. 7. Später wurde eine ganze Familie mehr oder weniger geschlossener Kohlenstoffkäfige gefunden, welche heute die Stoffklasse der Fullerene bilden.

Vielleicht hat dieser anfangs doch recht kontroverse Name mit der Schönheit der Form des Moleküls dafür gesorgt, daß sich Laien nicht nur für dieses Molekül sondern für Chemie überhaupt zu interessieren begannen. [11]

Für eine direkte Bestimmung der Struktur von  $C_{60}$  etwa durch Spektroskopie oder Röntgenbeugung reichten damals aber die durch laser-induzierte Desorption erhaltenen Mengen bei weitem nicht aus. Man brauchte mehr Substanz als „nur einen Hauch in einem überschallschnellen Heliumwind, der nur von einem ultraempfindlichen Sensor, dem Massenspektrometer, nachgewiesen werden kann,“ wie Kroto anmerkte.

Immerhin gelang es bald, noch 1985, ein Lanthan-Atom mit  $C_{60}$  zu verbinden, das heißt wahrscheinlich im Innern des hohlen  $C_{60}$ -Käfigs einzuschließen, und den stabilen Komplex massenspektroskopisch nachzuweisen. [12]

Doch ein schlüssiger Beweis für die Gestalt von  $C_{60}$  fehlte immer noch. Lockte der ästhetische Sinn auf die falsche Fährte?



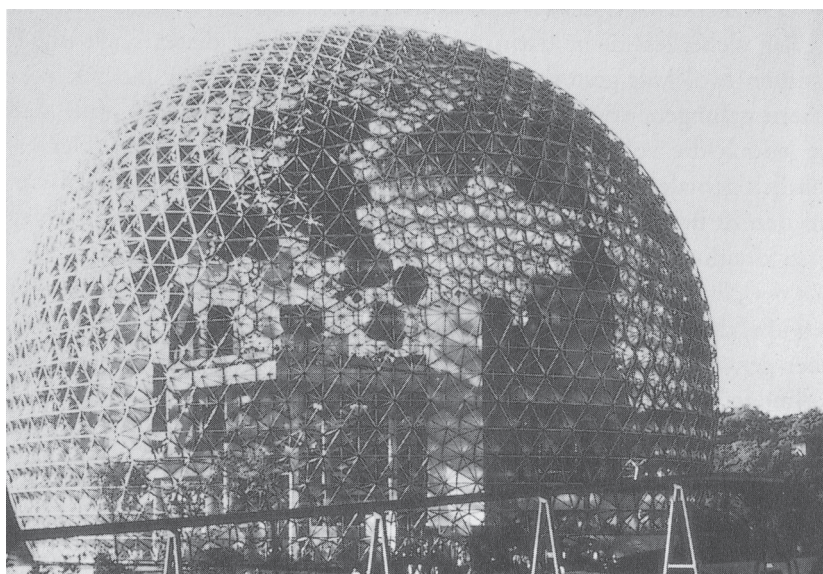


Abb. 7: Buckminster-Fuller-Kuppel auf der Weltausstellung 1967 in Montreal [1].

Kroto schreibt, daß er geradezu besessen war von der Suche nach einem schlüssigen Beweis. Er hatte nur noch den einen Traum, das Rätsel um die Struktur von  $C_{60}$  durch Kernresonanz zu lösen. Es kam anders.

### Dritter Akt

#### Die Einschnitt-Synthese von $C_{60}$ und erster schlüssiger Strukturbeweis

Krätschmer und Huffman schleppten den Gedanken an die „Kamelhöcker“ auf den Ultraviolettpektren der Rußteilchen nun schon vier Jahre mit sich herum. Im Herbst 1987 wurde Krätschmer mit der Vermutung Huffman's überrascht daß er, Huffman,  $C_{60}$  für den Träger der mysteriösen Kamelhöcker auf den Spektren halte. Mehr noch, er hatte die Herstellung von  $C_{60}$  nach Krätschmer und Huffman zum Patent angemeldet, und überredete Krätschmer, den Kamelhöckerruß erneut zu produzieren.

Krätschmer willigte ein und faßte den entscheidenden Gedanken, nicht nur die Ultraviolettpektren zu messen, sondern auch in den infraroten Spektralbereich mit einem höchst empfindlichen Instrument vorzudringen. Im Infraroten kann man die Schwingungen der Atome in einem Molekül studieren. Das Infrarotspektrum eines Moleküls bzw. einer Substanz ist charakteristisch wie ein Fingerabdruck. Aber, es gibt vorerst einen schwer wiegenden Nachteil. Fulleren hat 60 Atome, und damit hat das Molekül 174 Eigenschwingungen, ( $3N-6$ ,  $N$ =Atomzahl) und das Schwingungsspektrum erscheint zunächst hoffnungslos kompliziert. Hier greift die Symmetrie. Das gekappte Ikosaeder und

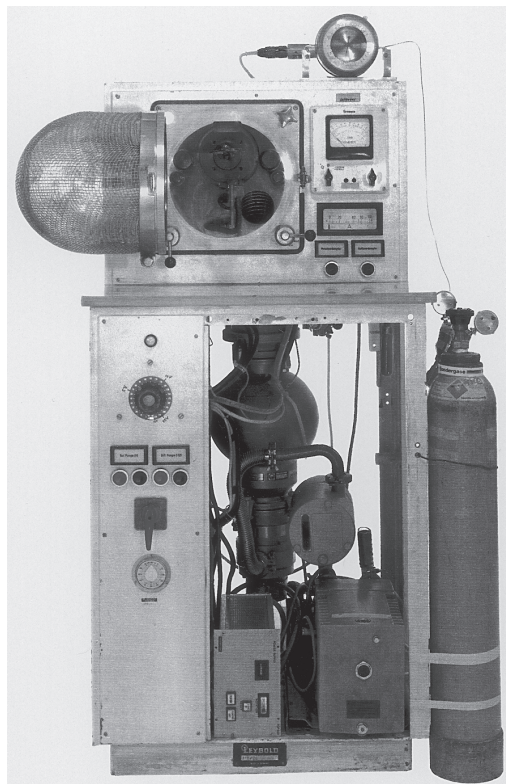


Abb. 8: Aufdampfanlage mit der Buckminster-Fulleren erstmals in wägbaren Mengen präpariert worden ist. Die Originalanlage ist im Deutschen Museum in Bonn ausgestellt. (Foto: Deutsches Museum).

das reguläre Ikosaeder weisen die höchste Symmetrie  $I_h$  auf, die es im drei-dimensionalen euklidischen Raum gibt. Die postulierte hohe Symmetrie von  $C_{60}$  sollte eine ganz deutliche, drastische Vereinfachung des Schwingungsspektrums bewirken. Für das gekappte Ikosaeder, das Fußballmolekül, der Symmetrie  $I_h$  gibt es genau vier und nur vier infrarotaktive Eigenschwingungen, die jeweils dreifach entartet sind.

So startete Krätschmer im Herbst 1988 erneut in der alten Aufdampfanlage die Herstellung von Ruß, wobei diesmal die Heliumdrucke systematisch variiert wurden, und entscheidend war eine kleine Erhöhung des Heliumdrucks beim Verdampfen des Graphits auf 100 - 200 mbar, –hier fällt mir wieder Prof. Folman's Hinweis ein. Abb. 8. Zur freudigen Überraschung von Krätschmer fanden sich im Hochdruck-Ruß (bei ca. 100 mbar He) vier recht scharfe Linien im Infrarotabsorptionsspektrum und zwar nahe der vorhergesagten

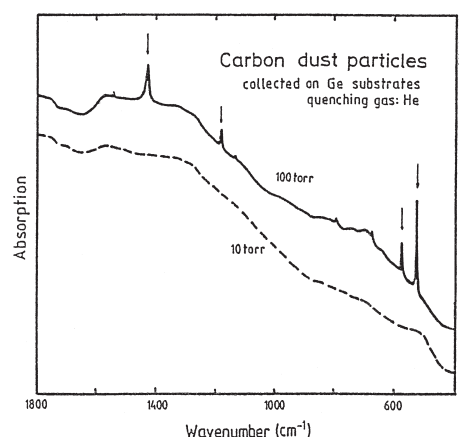


Abb. 9: Das erste Infrarotspektrum von  $C_{60}$ . Der Ruß wurde in der Aufdampfanlage (Abb.8) bei Heliumdrucken von 10 torr und 100 torr hergestellt. Das Kontinuum stammt von graphitischem Ruß, die vier schmalen Spektrallinien von  $C_{60}$ . [13]

Frequenzen. Abb. 9. [13] Auch die Kamelhöcker im Ultraviolettpektrum wurden diesmal reproduzierbar und nicht, wie damals, sporadisch beobachtet.  $C_{60}$  konnte zusammen mit ca. 10%  $C_{70}$ , das miterzeugt worden war, nach einem Hinweis des Chemikers Werner Schmidt, mit Toluol bzw. Benzol aus dem Ruß extrahiert und rein kristallisiert werden. Abb. 10. Die Lösung von  $C_{60}$  in Toluol ist schön violett.

Der Durchbruch war gelungen. Rückblickend schreibt Krätschmer 1999 in „Horizonte, wie weit reicht unsere Erkenntnis heute“: „Uns war klar, daß wir dabei waren, eine sensationell simple Methode zur Massenproduktion von  $C_{60}$  zu finden.“ [14] Hinzufügen möchte ich, daß auch der erste schlüssige Strukturbeweis für den archimedischen gekappt ikosaedrischen Hohlkörper erbracht worden war. Schließlich gelang es Kroto, die lange gesuchte Äquivalenz der Kohlenstoffatome durch das  $^{13}\text{C}$  Kernresonanzspektrum, in dem nur eine einzige Resonanz auftritt, nachzuweisen. [15]

Krätschmer und Mitarbeiter berichteten 1990 in der Zeitschrift „Nature“ über die  $C_{60}$  Synthese und die Strukturuntersuchungen. [16, 17] In der Folgezeit wuchsen die Forschungsaktivitäten über Fullereene lawinenartig weltweit. Die Zahl der Fulleren Veröffentlichungen stieg von etwa 30 in 1990 auf 500 in 1991 und über 1000 in 1992. Abb. 11. [18]

1991 wählte das angesehene Wissenschaftsmagazin „Science“  $C_{60}$  zum Molekül des Jahres.

Wolfgang Krätschmer wird 1992 mit dem Stern-Gerlach-Preis ausgezeichnet, 1993 mit dem Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Er erhielt den Material Research Society Medal Award und eine Reihe anderer Auszeichnungen, 1997 den Bonner Chemie-Preis.

Kroto, Curl und Smalley erhielten für ihre Beiträge zur Entdeckung der Fullereene 1996 den Nobelpreis für Chemie.

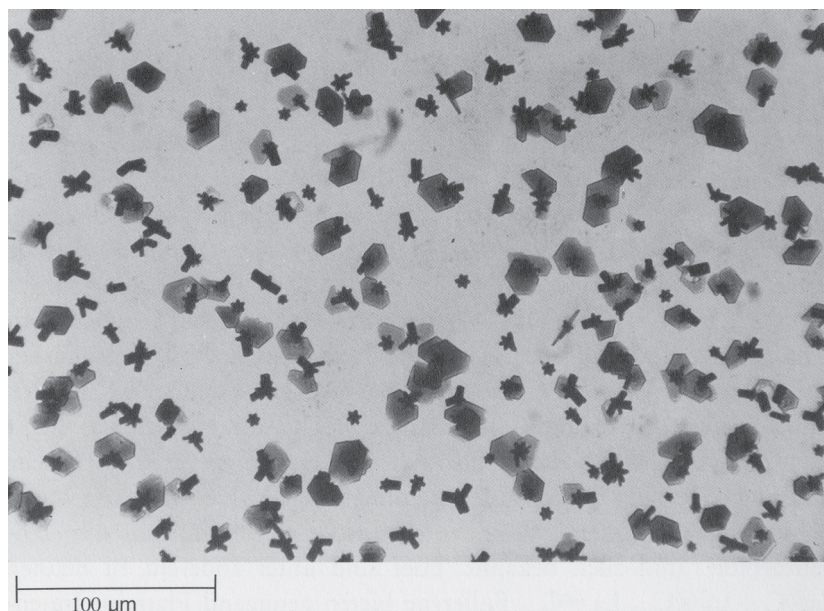


Abb. 10: Die ersten im Durchlicht rötlich braunen, aus einer Benzollösung gezüchteten Kristalle von  $C_{60}$ . Die Kristalle enthalten noch 10% miterzeugtes  $C_{70}$  und geringe Mengen Benzol. [16]

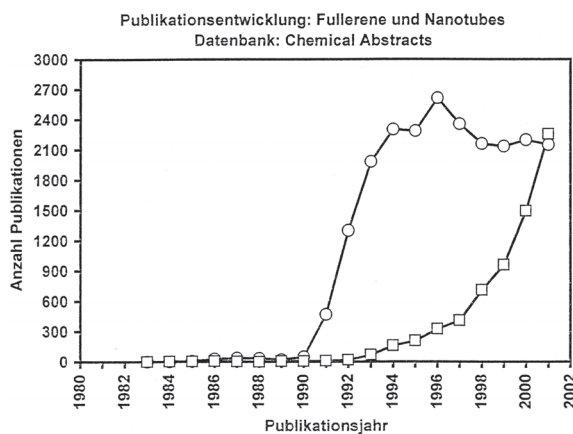


Abb. 11: Entwicklung der Anzahl der Veröffentlichungen über Fullere und Kohlenstoff-Nanoröhren. Im Speicher der Chemical Abstracts Verbindungs-Datenbanken (CAS Registry File) waren am 14. August 2002 insgesamt 20515 Fullere und Derivate registriert. In der Literatur-Datenbank (CAPLUS File) waren 22570 Literaturnachweise zu Fullerenen gespeichert. Dem stehen 7817 Literaturnachweise zu Kohlenstoff-Nanoröhren gegenüber. [18]



Wo stehen wir heute?

Einen Einblick in die aktuelle, weiter sehr intensive Fulleren-Forschung gab uns das Kolloquium „Neue Kohlenstoffe“ mit ausgezeichneten Beiträgen aus der experimentellen Chemie von Martin Jansen, Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart, und Andreas Hirsch, Universität Erlangen-Nürnberg, der theoretischen Chemie von Reinhart Ahlrichs, Universität Karlsruhe, und aus der Physik von Siegmur Roth, ebenfalls Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart, jeweils mit Ausblicken auf erregende Fortentwicklungen.

Herrn Siegmur Roth verdanken wir aufschlußreiche Bilder und Objekte über elektronischen Transport in Transistoren von Nanometer-Ausdehnung, Aktuatoren, dem Prototyp eines Flachbildschirms u.a., jeweils fabriziert aus Kohlenstoffnanoröhren. Er brachte die Objekte mit und wird diese freundlicherweise selbst zeigen.

Bevor ich zum Schlußwort komme, möchte ich knapp über den heutigen Stand der Fulleren-Synthese berichten. In der angesehenen Zeitschrift „Science“ beschreibt Lawrence T. Scott und Mitarbeiter die Darstellung eines propellerartigen, wahrscheinlich ebenen Moleküls  $C_{60}H_{27}Cl_3$  in elf Schritten, das aufgeschlagenem  $C_{60}$  ähnelt. – Der Umriß des Moleküls erinnert an die „Dymaxion-Weltkarte“ Buckminster Fullers, in der er die gekrümmte Oberfläche des Globus auf den Kuboktaeder, einen archimedischen Vierzehnflächner, projizierte und so das kartographische Dilemma, sich zwischen Winkel- und Flächentreue zu entscheiden, überwand. – Wie Fullers Faltglobus krümmt sich das Molekül bei der Blitz-Vakuum-Pyrolyse, die im Göttinger Labor von Armin de Meijere ausgeführt wurde, in Bruchteilen einer Sekunde auf  $1100^\circ\text{C}$  erhitzt, alle seine Chlor- und Wasserstoffatome verlierend, zum  $C_{60}$ -Ball zusammen. Die Gesamtausbeute beträgt nur 1%, so daß diese Synthese das Krätschmer-Verfahren als billige Quelle von Fullerenen nicht ablösen wird, wohl aber den Weg zur systematischen Synthese anderer Fullerene weisen könnte [19].

## Epilog

Was lernen wir aus dieser Entdeckungsgeschichte?

In der Wissenschaft sollte man mit Fleiß, Ausdauer, Konsequenz und Phantasie jeglichen Staub- und Rußeffekten nachgehen, um HEUREKA oft nach Jahren der Anstrengungen und Enttäuschungen nicht zu verpassen sondern wirklich zu erleben.

Die Entdeckung der Fullerene war nicht geplant. Die Forschung wurde nicht unter Anwendungsdruck betrieben und war nicht durchdrungen von der Furcht des Scheiterns. Krätschmer und Kroto fanden ihren ursprünglichen Antrieb in der Faszination des interstellaren Mediums. Die Entdeckung der Fullerene ist ein strahlendes Zeugnis für die Stärke der reinen, zweckfreien Grundlagenforschung. Kinder lernen und entdecken die Freuden der Natur beim Spielen am leichtesten und nachhaltigsten.

Erst durch die Anstrengungen einer ganzen Reihe von Forschern aus unterschiedlichen Disziplinen, die aus England, USA, Deutschland und anderen Ländern kamen, gelang die Entdeckung der Fullerene. Wissenschaft ist wie Frieden ein unteilbares Gut, das die Anstrengungen der Menschen verdient und erfordert, und deren Früchte allen Menschen zugute kommen sollen.

Die Entdeckung der Fullerene ist eine der großen Taten der jüngeren Chemie. Es gibt kaum eine andere Entdeckung, die solche Forschungsaktivitäten in den Naturwissenschaften ausgelöst hat. Chemiker haben im wörtlichen Sinn eine neue Dimension für Synthesen in weiten, drei-dimensionalen Hohlräumen gefunden. Physikern eröffnen sich neue Bereiche elektrischer Supraleitung, das heißt nahezu verlustfreier Leitung des elektrischen Stromes in molekularen Supraleitern. Es ist dies ein hoch aktuelles und in starkem Fluß befindliches Gebiet. Die Entdeckung der Fullerene gab der Forschung auch in angewandten Disziplinen außerordentliche Impulse, die zu aussichtsreichen Entwicklungen z.B. in den Materialwissenschaften und der molekularen Medizin geführt haben.

Meine Damen und Herren, einen wesentlichen Zug der geistigen Kraft von Gauß erfassen wir in seiner praktizierten Interdisziplinarität von der Astronomie bis zu Geodäsie.

Lassen Sie mich ein Wort von Norbert Kamp, unserem früheren Präsidenten, abwandeln: Ein Physiker, der selbst Interdisziplinarität in Meisterschaft vorlebt, kann mit guten Gründen und auch guten Gewissens den Namen von Gauß mit der Anerkennung seines eigenen Weges verknüpfen. Ich gratuliere Ihnen, sehr verehrter Herr Kollege Krätschmer!

### Danksagung

Prof. Sir Harold W. Kroto, University of Sussex, Falmer, Brighton, und dem Deutschen Museum, Bonn, danke ich für die freundliche Genehmigung, Abbildung 5 bzw. Abbildung 11 abzudrucken. Dr. Werner Marx, Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart, schulde ich Dank für die Ermittlung der Entwicklung der Veröffentlichungen über Fullerene und Nanoröhren und die Erstellung der Abbildung 11.

### Literatur

- [1] WOLFGANG KRÄTSCHMER & HEIKE SCHUSTER, (Hrsg.) „Von Fuller bis zu Fullerenen. Beispiele einer interdisziplinären Forschung“, Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 1996.
- [2] W. KRÄTSCHMER, Carbon Molecules as Possible Carrier of the Diffuse Interstellar Bands, *Astrophysics and Space Science* **128**, 93 (1986).
- [3] J. HEIDBERG, H. STEIN & E. Riehl, Resonance, Rate and Quantum Yield of Infrared-Laser-Induced Desorption by Multiquantum Vibrational Excitation of the Adsorbate CH<sub>3</sub>F on NaCl, *Phys.Rev.Lett.* **49**, 666 (1982).
- [4] J. HEIDBERG, H. STEIN, Z. SZILÁGYI, D.HOGE & H. WEIß, Desorption by Resonant Laser-Adsorbate Vibrational Coupling, in „Dynamics on Surfaces“, B. PULLMAN, J. JORTNER, A. NITZAN & B. GERBER (Eds.). The Jerusalem Symposia on Quantum Chemistry and Biochemistry. Vol.17, Reidel Publ. Comp., Dordrecht, p.329 (1984).
- [5] E.A. ROHLFING, D.M. COX & A. KALDOR, Production and characterization of supersonic carbon cluster beams, *J. Chem. Phys.* **81**, 3322 (1984).

- [6] H.W. KROTO, J.R. HEATH, S.C. O'BRIEN, R.F. CURL & R.E. SMALLEY, C<sub>60</sub>: Buckminsterfullerene, *Nature* **318**, 162 (1985).
- [7] D.E.H. JONES (Pseudonym Daedalus), *New Scientist* **32**, 245 (1966).
- [8] Z. YOSHIDA & E. OSAWA, "Aromaticity" (in Japanisch, Kagakudoijn, Kyoto) 1971. E. Osawa, *Chem.Abstr.* **74**, 75698v (1971). (Original in Japanisch: Kagaku, Kyoto 1970).
- [9] D.A. BOCHVAR & E.G. GAL'PERN, *Doklady Akad.Nauk SSSR* **209**, 610 (1973) (engl. Übers.: *Proc.Acad.Sci. USSR* **209**, 239 (1973)).
- [10] H.W. KROTO, Die Entdeckung der Fullerene in „Von Fuller bis zu Fullerenen“, W. Krätschmer, H. Schuster (Hrsg.) Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden, S.53, 1996.
- [11] J. DETTMANN, Fullerene, Birkhäuser-Verlag, Basel, 1994.
- [12] J.R. HEATH, S.C. O'BRIEN, Q. ZHANG, Y. LIU, R.F. CURL, H.W. KROTO, F.K. TITTEL, & R.E. SMALLEY, *J.Am.Chem.Soc.* **107**, 7779 (1985).
- [13] W. KRÄTSCHMER, K. FOSTIROPOULOS & D.R. HUFFMAN, Search for the UV and IR Spectra of C<sub>60</sub> in Laboratory-Produced Carbon Dust in "Dusty Objects in the Universe", E. Bussolletti, A.A. Vottone (Eds.), Kluwer, Dordrecht, p.89, 1990.
- [14] W. KRÄTSCHMER, in „Horizonte - Wie weit reicht unsere Erkenntnis heute?“, Günther Wilke et al. (Hrsg.), S. Hirzel, Wiss. Verlagsges., Stuttgart 1993, S.185.
- [15] R. TAYLOR, J.P. HARE, A.K. ABDUL-SADA & H.W. KROTO, *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* 1423 (1990).
- [16] W. KRÄTSCHMER, LOWELL D. LAMB, K. FOSTIROPOULOS & DONALD R. HUFFMAN, Solid C<sub>60</sub>: a new form of carbon, *Nature* **347**, 354 (1990).
- [17] W. KRÄTSCHMER, K. FOSTIROPOULOS & D.R. HUFFMAN, The infrared and ultraviolet absorption spectra of laboratory-produced carbon-dust: evidence for the presence of the C<sub>60</sub> molecule, *Chem.Phys.Lett.* **170**, 167 (1990).
- [18] WERNER MARX, Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart, private Mitteilung.
- [19] L.T. SCOTT, M.M. BOORUM, B.J. McMAHON, S. HAGEN, J. MACK, J. BLANK, H. WEGNER & A. DEMEIJERE, A rational chemical synthesis of C<sub>60</sub>, *Science* **295**, 1500, 2002.

---

Univ.-Prof. Dr. phil. nat. Joachim Heidberg  
 Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie  
 Universität Hannover · Callinstr. 3-3A · D-30167 Hannover  
 priv.: Zuckmayerstr. 9 · D-30453 Hannover